مجلّهٔ جغرافیا و توسعهٔ ناحیه‌ای، سال پانزدهم، شمارهٔ اوّل، بهار و تابستان ۱۳۹۶، شمارهٔ پیاپی ۲۸

DOI: 10.22067/geography.v15i1.56877

ارزیابی آماری از انتقالات کاربری اراضی و پوشش زمین در حوضهٔ آبخیز دریاچهٔ ارومیه با استفاده از ماتریس انتقال

یاسر امینی (کارشناسی ارشد سنجش از دور و GIS، دانشگاه هرمزگان، بندرعبّاس، ایران)
aminiyaser93@gmail.com
اسداله خورانی (دانشیار جغرافیا، دانشگاه هرمزگان، بندرعبّاس، ایران، نویسندهٔ مسئول)
khoorani@hormozgan.ac.ir
مسعود بختیاری‌کیا (استادیار جغرافیا، دانشگاه هرمزگان، بندرعبّاس، ایران)
masbakht@gmail.com
صالح آرخی (دانشیار جغرافیا، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران)
arekhi1348@yahoo.com

صص ۱۹۲ - ۱۷۱

چکیده

اهداف: پایش تغییرات کاربری‌ها و درک پویایی آن در یک حوضهٔ آبخیز، از جایگاه خاصّی در مدیریت پایدار آن حوضه برخوردار است. هدف تحقیق حاضر، استفاده از سنجش از دور و GIS جهت تهیهٔ نقشهٔ تغییرات و شناسایی انتقالات کاربری اراضی و پوشش زمین با به‌کارگیری ماتریس انتقال و تصاویر ماهوارهٔ لندست در حوضهٔ آبخیز دریاچهٔ ارومیه می‌باشد.

روش: جهت انجام تحقیق، از تصاویر ماهوارهٔ لندست در دورهٔ زمانی ۲۰۱۵ ــ ۱۹۸۸ استفاده گردید. بدین‌منظور پس از انجام پیش‌پردازش‌های موردنظر، جهت انجام طبقه‌بندی از روش‌های ماشین‌بردار پشتیبان و روشیءگرا استفاده و سپس اعتبارسنجی گردیدند. همچنین جهتِ برآورد میزان انتقالات و دیگر ویژگی‌های حوضهٔ آبخیز دریاچهٔ ارومیه، ابتدا ماتریس انتقالی استخراج شده و سپس طبقه‌بندی شیءگرا بین دوره‌های زمانی ۲۰۱۵ـ۱۹۸۸ ارائه شد. سپس با استفاده از فرمول‌های موردنظر، میزان پایداری، افزایش، کاهش، تغییرات کل، تغییرات خالص و مبادلهٔ همزمان کاربری‌های اراضی و پوشش زمین مشخّص گردید.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۳/۲۹ تاریخ تصویب: ۱۳۹۶/۰۴/۰۷

یافته‌ها/ نتایج: پس از ارزیابی صحت، صحت کلّی برای نقشه‌های حاصل از ماشین بردار پشتیبان و روش شیءگرا به‌ترتیب برابر با ۹٤ و ۹۲ درصد و مقدار کاپای آنها به‌ترتیب ۹۲ و ۸۹ برآورد شد که نشان‌دهندهٔ برتری روش شیءگرا در مقایسه با روش ماشین بردار پشتیبان است. در کل، هر دو روشِ طبقه‌بندی توانستند صحت قابل‌قبولی برای نقشه‌های کاربری اراضی و پوشش زمین ارائه دهند. نتایج حاصل از انتقالات نشان داد به‌طور میانگین، ۵۹ درصد از چهرهٔ زمین در حوضهٔ آبخیز دریاچهٔ ارومیه در فاصلهٔ زمانی ۲۰۱۵ـ۱۹۸۸ پایداری پوشش داشته است، که بیشترین میزان این تداوم براساس مقدار این کاربری در فاصلهٔ زمانی ۲۰۱۵ـ۱۹۸۸ مربوطه به مناطق مسکونی می‌باشد. حدود ۱٤ درصد از سطح حوزهٔ آبخیز دریاچهٔ ارومیه به‌صورت تبادل همزمان[1] بوده است. همچنین سطوح آبی حوضهٔ آبخیز دریاچهٔ ارومیه در دورهٔ زمانی فوق، بیشترین ازدست‌دادگی و کمترین تبادل همزمان را تجربه کرده است.

نتیجه‌گیری: حوضهٔ آبخیز دریاچهٔ ارومیه در این فاصلهٔ زمانی (۲۰۱۵ـ۱۹۸۸) تغییرات و انتقالات شدیدی را تجربه کرده است، تاجایی‌که تنها ۵۹ درصد از چهرهٔ زمین، ثابت مانده و قسمت‌های دیگر، انواعی از انتقال‌ها را تجربه کرده‌اند. همچنین سطوح آبی و سپس مراتع، بیشترین آسیب‌پذیری را تجربه کرده‌اند که نشان از افزایش اراضی فاقد پوشش و اراضی زراعی (کشاورزی) می‌باشد. این تجزیه‌وتحلیل ما را به سنجش و تجسّم میزان انتقالات عمدهٔ LULC درجهت برنامه‌ریزیِ آیندهٔ حوضهٔ آبخیز دریاچهٔ ارومیه توصیه می‌کند.

کلیدواژه‌ها: روش‌شیءگرا، ماتریس انتقال، آسیب‌پذیری و پایداری، حوضهٔ آبخیز دریاچهٔ ارومیه

۱. مقدّمه

با توجّه به نقش منابع طبیعی در زندگی بشر، لازم است اطّلاع دقیقی از چگونگی وضعیت منابع طبیعی و روند تغییرات آنها کسب گردد و نظارت بر روند تغییرات و دسترسی به آمار و اطّلاعات به‌روز، از عوامل کلیدی در برنامه‌ریزی‌ها، تصمیم‌گیری‌ها و ابزار مدیریت در هر سازمانی می‌باشد (زهتابیان و طباطبایی، ۱۳۷۸. صص. ۵۵ـ٦۷). پایش تغییرات، فرآیند تعیین تفاوت‌ها در

1. swap

وضعیت یا حالت یک شیء یا پدیده با مشاهدهٔ آن در زمان‌های مختلف است (سینگ[1]، ۱۹۸۹. ص. ۹۸۹). در چهار دههٔ گذشته، تغییرات کاربری اراضی در ایران به یک مشکل حاد تبدیل شده است و اغلب تغییرات کاربری اراضی، بدون یک برنامه‌ریزی مدوّن و با توجّه اندک به آثار زیست‌محیطی آنها صورت می‌گیرد و این باعث تشدید روند تخریب اراضی شده است. ازآنجاکه تغییرات در کاربری اراضی در سطوح وسیع و گسترده صورت می‌گیرد، تکنولوژی سنجش از راه دور یک ابزار ضروری و باارزش در ارزیابی تغییرات به‌دلیل پوشش مکرّر و تکراری کرهٔ زمین است (لو، ماسویل، ایروندز، و موران[2]، ۲۰۰٤. ص. ۲۳٦۷).

به نظر می‌رسد با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و تکنیک‌های طبقه‌بندی آنها می‌توان اراضی‌ای را که دارای شباهت‌های سطحی و بازتاب مشابه هستند، در یک طبقه قرارداد و شرط اوّلیه را که همان گروه‌بندی اراضی مشابه است، فراهم آورد (علوی‌پناه، متین‌فر، و سرمدیان، ۱۳۸۳. صص ٤۲۵ـ٤۳۹). از نمونهٔ تکنیک‌های طبقه‌بندی، می‌توان به روش‌های ماشین بردار پشتیبان و روش شیءگرا اشاره کرد. روش ماشین بردار پشتیبان ازجمله روش‌های غیر پارامتریک یادگیری ماشینی است که با تعیین یک صفحهٔ تفکیک‌کنندهٔ بهینه در فضای ویژگی داده‌های آموزشی، کلاس‌های مختلف را با حداکثر جدایی بین آنها، تفکیک می‌نماید (پتروپولوس، کالایتیدز، و واردریو،[3] ۲۰۱۰، صص ۹۹ـ۱۰۷). جذابیت ماشین‌های بردار پشتیبان یا SVM[4] در قابلیت آنها در حداقل‌کردن ریسک ساختاری یا خطای طبقه‌بندی هنگام حل مسئلهٔ طبقه‌بندی است (تسو و مازر، ۲۰۰۹. ص. ۳۷٦). در روش پیکسل پایه، واریانس و کوواریانس داده‌ها ارزیابی و فرض می‌شود که همهٔ مناطق آموزشی از پراکنش یکسانی برخوردار هستند. درحقیقت، نمونه‌های آموزشی باید معرّف کل کلاس‌ها باشند. بنابراین هرچه تعداد نمونه‌های آموزشی بیشتری استفاده شود، تغییرهای بیشتری از ویژگی‌های طیفی در آن گستره قرار خواهد گرفت (علوی پناه، ۱۳۹۰، صص ۸۰ـ۸۳). در مقابل، طبقه‌بندی شیءگرا روشی مبتنی بر قطعه‌بندی است. قطعه‌بندی تصویر، فرآیند یکپارچه‌سازی پیکسل‌ها براساس همگنی پدیده‌های تصویری است و براساس چهار فاکتور پهنای پنجره[5]، تلرانس

1. singh
2. Lu, D., Mausel, P., Brondizio, E., & Moran, E.
3. Petropoulos GP, Kalaitzidis C, Vadrevu KP
4. Support vector machines
5. Window width

تشابه[1]، میانگین‌وزنی[2] و فاکتور واریانس وزنی[3] کنترل می‌شود (باتز و استینوچر[4]، ۱۹۹۹. ص. ٢٦). قطعات باید در داخل خود همگن بوده و تنها نمایندهٔ یک طبقه باشند، نه ترکیبی از چند طبقه و درعین‌حال باید در کل تصویر، ناهمگنی و اختلاف بین پدیده‌های مجاور وجود داشته باشد (تصویربرداری Gmbh[5]، ۲۰۰۳. ص. ٢٤٩).

در دهه‌های اخیر، تغییرات سریع کاربری اراضی و پوشش زمین در حوضهٔ دریاچهٔ ارومیه، با پیامدهای مهمّی مثل تخریب منابع طبیعی، آلودگی‌های زیست‌محیطی و رشد نامناسب شهرها همراه بوده است. همچنین پایین‌رفتن آب دریاچهٔ ارومیه در طی این سال‌ها می‌تواند متأثّر از دخالت‌های انسانی و سیاست‌های عمومی، شرایط اقلیمی و طبیعی یا به‌طورکلّی انتقالات سیستماتیک و تصادفی کاربری اراضی و پوشش زمین باشد. آگاهی از انواع پوشش سطح زمین و نحوهٔ استفاده از زمین در بخش‌های مختلف دریاچهٔ ارومیه، به‌عنوان اطّلاعات پایه برای برنامه‌ریزی‌های مختلف از اهمّیت ویژه‌ای برخوردار است.

تحقیق حاضر با هدف ارزیابی آماری از تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین در حوزهٔ آبخیز دریاچهٔ ارومیه طی دورهٔ زمانی ۲۷ساله انجام شد. بدین منظور از روش طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان، شبکه‌های عصبی مصنوعی و روش شیءگرا جهت طبقه‌بندی نظارت‌شده و از ماتریس احتمال برای ارزیابی آماری از چهرهٔ زمین در سال‌های ۱۹۸۸و ۲۰۱۵ استفاده گردیده است.

۲. پیشینهٔ تحقیق

پنطیوس، شوساس، و مکیاهیرن[6] (۲۰۰٤) یک تعریف آماری از تغییرات سیستماتیک و تصادفی ارائه دادند. این تعریف آماری تفاوت بین انتقالات سیستماتیک و تصادفی را در تفاوت بین نسبت انتظاری و مشاهده‌شده از کاربری‌ها می‌داند. برایموه[7] (۲۰۰٦) به بررسی انتقالات سیستماتیک و تصادفی در شمال غنا با استفاده از تصاویر TM[8] و طبقه‌بندی نظارت‌شده پرداخت. سپس از ماتریس انتقال پوشش زمین با استفاده از مقایسهٔ دو نقشه در سال‌های مختلف جهت استخراج

1. Similarity tolerance
2. Weight mean factor
3. Weight variance factor
4. Bauer, T., & Steinnocher, K.
5. Definiens Imaging Gmbh
6. Pontius, R. G., Shusas, E., & McEachern, M
7. Braimoh & et all
8. Landsat Thematic Mapper

انتقالات کاربری اراضی/پوشش زمین استفاده کرد. نتایج نشان داد که انتقالات تصـادفی بیشـتر متـأثّر از اشغال خودبه‌خود زمین توسّط مهاجران و گسـترش گنـدمزارهایی جهـت اسـکان مجّـدد بـوده، همچنین تبدیل جنگل به گندمزارها تحت یک فرایند سیستماتیک از تغییرات صورت گرفتـه اسـت. سپس آلو و پنطیوس[۱](۲۰۰۸) به شناسایی انتقالات سیستماتیک پوشش زمین بـا اسـتفاده از سـنجش از دور و GIS برای مناطق جنگلی جنوب غنا پرداختند. برای طبقه‌بندی از تصـاویر لندسـت TM و برای تجزیه‌وتحلیل تغییرات، از ماتریس انتقال استفاده کردند. سپس براساس انحراف‌های حاصـل از کاربری‌ها، انتقالات سیسـتماتیک و رانـدومی را تشـخیص دادنـد. نتـایج نشـان داد منـاطق جنگلـی حفاظت‌شده تحت تأثیر انتقالات سیسـتماتیک بـه زمـین‌هـای زیـر کشـت رفتنـد. منانـدهار، اوده و پنطیوس[۲] (۲۰۱۰) با استفاده تصاویر لندست ۱۹۸٤ و ۲۰۰۵ با به‌کارگیری ماتریس گـذر بـه ارزیـابی انتقالات سیستماتیک و تصادفی در منطقهٔ ولز استرالیا پرداختند. نتایج نشان داد که کمتـر از ۷ درصـد از انتقالات صورت‌گرفته در منطقه، به‌صورت تغییر خالص و ۲۸ درصـد ایـن تغییـرات بـه‌صـورت تبادل همزمان در منطقه رخ داده است. تبدیل مرتع به بیابان، بیابان به چراگاه و چراگاه بـه بوتـه‌زار از تبدیلات سیستماتیک در منطقه شناسـایی شـد. درنهایـت، بـه‌کـارگیری از مـاتریس احتمـال بـرای شناسایی و سنجش میزان LUCC[۳] مفید و کارآمد می‌باشد.

پیسانت، روجر، و استامپ[٤] (۲۰۱٤) در تحقیقی با استفاده از روش شیءگرا اقدام به تهیـهٔ نقشـهٔ جنگل‌های سطح شهر کردند و نشان دادند که روش شـیءگرا نقشـه‌هـای دقیـق و درعـین‌حـال بـا تفکیک قوی عناصر با بازتاب طیفی یکسان (مـثلاً شناسـایی انـواع پوشـش گیـاهی از هـم) تولیـد می‌نماید. کرمی، خورانی، نوحه گر، شمسی، و موسوی[۵] (۲۰۱۵) در تحقیقی بـا اسـتفاده از تصـاویر IRS منطقهٔ لامرد و نیز با به‌کارگیری روش شیءگرا، اقدام به تهیهٔ نقشه فرسایش آبکنـدی کردنـد و بر دقّت بالای این روش نسبت به سایر روش‌های متداول (روش ماشـین بـردار پشـتیبان و حـداکثر احتمال) تأکید کردند. در نمونهٔ جدیـدی نیـز آرخـی (۱۳۹٤) بـا بـه‌کـارگیری تصـاویر مـاهواره‌ای لندست، به آشکارسازی تغییرات پوشش/کاربری اراضی با استفاده از طبقه‌بندی شـیءگـرا پرداخـت.

1. Alo, C. A., & Pontius, R. G.
2. Manandhar, R., Odeh, I. O., & Pontius, R. G.
3. Land Use and Cover Change
4. Puissant, A., Rougier, S., & Stumpf, A.
5. Krami, A., Khorani, A., Noohegar, A., Shamsi, S. R. F., & Moosavi, V.

نتایج نشان داد که روش طبقه‌بندی شیءگرا را می‌توان در تهیهٔ نقشهٔ پوشش زمین و تشخیص تغییرات استفاده کرد.

۳. روش‌شناسی تحقیق

۳. ۱. روش تحقیق

روش پژوهش در این مطالعه از نوع کاربردی است که جهت استخراج اطّلاعات آماری از منطقهٔ موردنظر از الگوریتم‌های مختلف استفاده گردید. این اطّلاعات آماری، شامل Gain، Loss، persistence، Net Change و Swap می‌باشند که در بخش‌های بعدی به این اصطلاحات پرداخته می‌شود (جدول ۱):

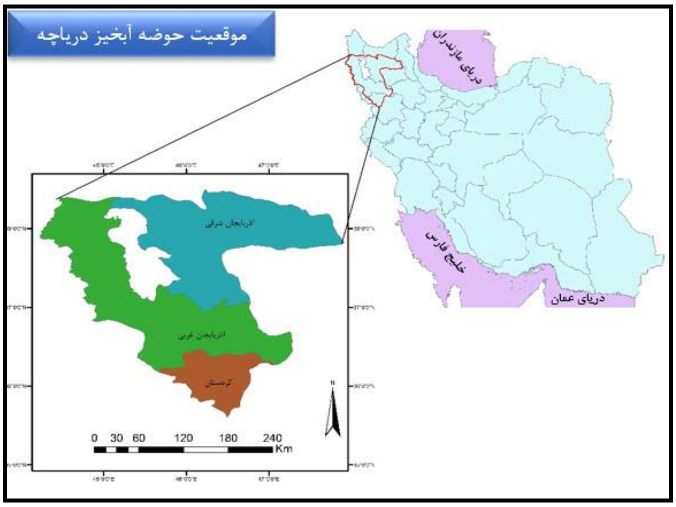
جدول ۱ـ مشخّصات آماری از تغییرات چهرهٔ زمین

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۵

مشخّصات		
نشانه	**عنوان**	**واحد**
Gain	افزایش	(%)
Loss	کاهش	(%)
persistence	تداوم	(%)
Net Change	تغییرات خالص	(%)
Swap	مبادله	(%)

۳. ۲. منطقهٔ موردمطالعه

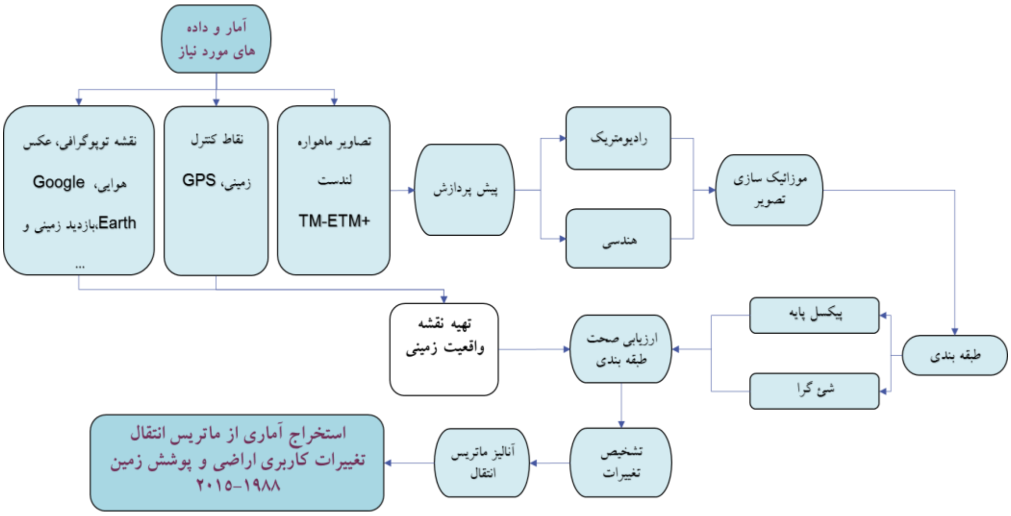
حوضهٔ آبخیز دریاچه یک حوضهٔ داخلی بسته است که در آن تمام رواناب‌های ناشی از بارندگی به‌سمت دریاچهٔ آب‌شور مرکزی جاری می‌شوند. حوضهٔ آبخیز وسیع دریاچهٔ ارومیه، با مساحت ۵۱۷۸٦ کیلومترمربّع، مناطقی از سه استان آذربایجان‌شرقی (۳۹ درصد)، آذربایجان‌غربی (۳۹ درصد) و کردستان (۱۰ درصد) واقع در سمت جنوب را تحت پوشش خود دارد. مختصات جغرافیایی این ناحیهٔ وسیع ۳۰´ ۳۵° تا ۳۰´ ۳۸° عرض شمالی و ۰۰´ ٤۸° تا ۱۵´ ٤٤° طول شرقی است. شکل (۱) موقعیت این حوضه را در سطح کشور به تفکیک استان نشان می‌دهد.



شکل ۱ـ موقعیت حوضهٔ آبخیز دریاچهٔ ارومیه

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۵

شکل (۲) نمودارِ جریانیِ پژوهش حاضر را نشان می‌دهد. در این پژوهش، تصاویر ماهواره‌ای در چندین مرحله پردازش می‌شوند. سپس با ایجاد نمونه‌های تعلیمی از منطقه در دو دورهٔ زمانی، طبقه‌بندی با استفاده از روش‌های پیکسل پایه و شیءگرا تهیه و ارزیابی صحت با استفاده از نقشهٔ واقعیت زمینی تهیه می‌گردد. درنهایت، ماتریس انتقال تشکیل و پارامترهای آماری محاسبه خواهد شد. در ادامه، این مراحل به‌صورت روشن توضیح داده شده است.



شکل ۲ـ رودنمای مراحل انجام پژوهش

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۵

٤. مبانی نظری تحقیق

٤. ١. مواد استفاده‌شده

برای استخراج نقشه‌های پوشش/کاربری اراضی و شناسایی فضایی و زمانی از LUCC، ابتدا تصاویر سنجندهٔ لندست از پایگاه اینترنتی GLCF[1] و USGS[2] در دوره‌های زمانی مناسب انتخاب و دانلود انجام شد. این تصاویر یک‌سری از تصاویر در دسترس از ماهوارهٔ لندست می‌باشد که فاقد گپ ناشی از اصلاح‌کنندهٔ خط اسکن است (جدول ۲). جهت ارزیابی آماری، از فرمول‌های پنطیوس استفاده گردید.

جدول ۲ـ مشخّصات تصاویر استفاده‌شده

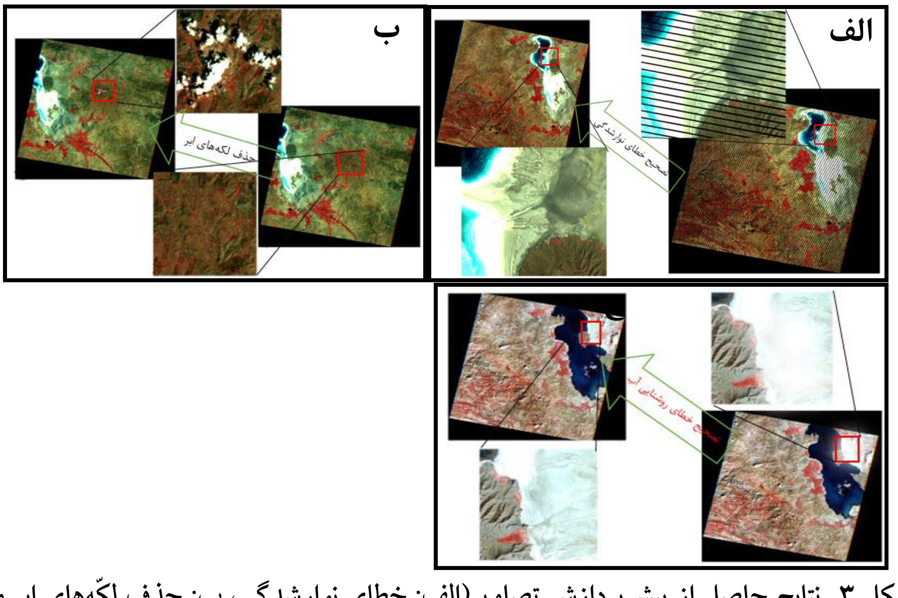
مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۵

گذر تصویر	ردیف تصویر	سنجنده	تاریخ تصویر	منبع دریافت تصویر	فرمت تصویر
۱٦۷	۳٤	TM	۱۹۸۸/۰۹/۳۰	/http://earthexplorer.usgs.gov	TIF
۱٦۷	۳٥	TM	۱۹۸۸/۰٦/۱۰	/http://earthexplorer.usgs.gov	TIF
۱٦۸	۳۳	TM	۱۹۸۸/۰۷/۱۹	/http://earthexplorer.usgs.gov	TIF
۱٦۸	۳٤	TM	۱۹۸۸/۰٦/۳۰	/http://earthexplorer.usgs.gov	TIF
۱٦۸	۳٥	TM	۱۹۸۸/۰٦/۳۰	/http://earthexplorer.usgs.gov	TIF
۱٦۹	۳۳	TM	1987/06/24	/http://earthexplorer.usgs.gov	TIF
۱٦۹	۳٤	TM	۱۹۸۹/۰۷/۰۷	/http://earthexplorer.usgs.gov	TIF
۱٦۷	۳٤	ETM+	۲۰۱٥/۰۲/۳۰	ftp://ftp.glcf.umd.edu/glcf	tar
۱٦۷	۳٥	ETM+	۲۰۱٥/۰۲/۳۰	ftp://ftp.glcf.umd.edu/glcf	tar
۱٦۸	۳۳	ETM+	۲۰۱٥/۰۲/۲۱	ftp://ftp.glcf.umd.edu/glcf	tar
۱٦۸	۳٤	ETM+	۲۰۱٥/۰۲/۲۱	ftp://ftp.glcf.umd.edu/glcf	tar
۱٦۸	۳٥	ETM+	۲۰۱٥/۰۲/۲۱	ftp://ftp.glcf.umd.edu/glcf	tar
۱٦۹	۳۳	ETM+	۲۰۱٥/۰۲/۲۸	ftp://ftp.glcf.umd.edu/glcf	tar
۱٦۹	۳٤	ETM+	۲۰۱٥/۰۲/۲۸	ftp://ftp.glcf.umd.edu/glcf	tar
۱٦۹	۳٥	ETM+	۲۰۱٥/۰۲/۲۸	ftp://ftp.glcf.umd.edu/glcf	tar

1. Global land cover facility
2. United States Geological Survey

٤. ٢. پیش‌پردازش و موزاییک‌بندی تصویر

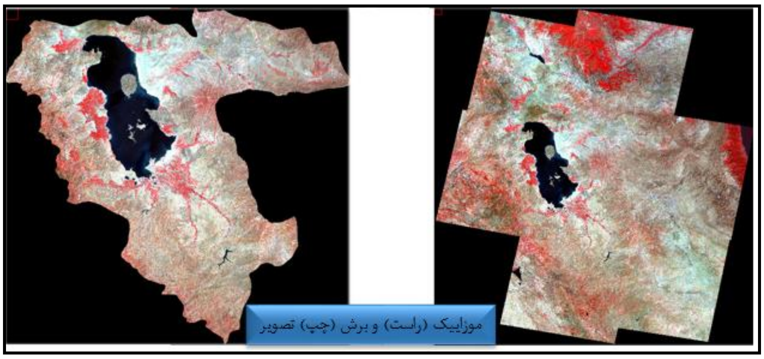
برای تصحیح هندسی، تصاویر با میزان خطای ریشهٔ میانگین مربّعات[1] حدود ۰/۳۷ پیکسل ثبت شد و با روی‌هم‌گذاری لایه‌های خطّی پل بر روی تصویر تطابق‌یافته، دقّت بالای عمل تطابق هندسی تأیید شد. همچنین از روش کاهش تیرگی پدیده[2] که جزو خطاهای اتمسفری و خطای نوار نوارشدگی که از نوع خطاهای دستگاهی می‌باشد، برای تصحیح رادیومتریک استفاده گردید. پدیدهٔ لکّه‌های ابر استفاده از تصاویر ماهواره‌ای را محدود کرده و باعث افزایش مشکل تجزیه‌وتحلیل می‌شود. امّا باوجود تصاویر چندزمانه می‌توان این مشکل را کاست. حذف ابر از تصاویر ماهواره‌ای، در چند مرحله صورت می‌گیرد: تشخیص ابر، تشخیص سایهٔ ابر، حذف ابر و بارزسازی اطّلاعات (سارایناً[3]، ۲۰۱٤، صص ٦٨١ـ٦٨٨). نتایج حاصل از این تصحیحات در شکل (۳) مشاهده می‌گردد. همچنین جهت موزاییک‌بندی، از تصاویر مختصات‌دار بدون توجّه به پیکسل‌ها استفاده گردید. شکل (٤) موزاییک‌بندی تصاویر سال ۱۹۸۸ را نشان می‌دهد.



شکل ۳ـ نتایج حاصل از پیش‌پردازش تصاویر(الف: خطای نوارشدگی، ب: حذف لکّه‌های ابر و ج: خطای روشنایی آب)

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۵

1. RMSE
2. Dark Object Subtraction (DOS)
3. Saryans



شکل ٤ـ موزاییک‌بندی تصاویر منطقهٔ موردمطالعه

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۵

٤. ۳. تهیهٔ نمونه‌های تعلیمی، طبقه‌بندی و ارزیابی صحت

با توجّه به بازدید میدانی و تصویر ماهوارهای گوگل‌ارث مربوط به منطقه، مشاهده گردید که در سال ۱۹۸۸، شش طبقه مناطق مسکونی، جنگل، مرتع، زراعت، اراضی فاقد پوشش و سطوح آبی وجود داشته است. به‌منظور حذف پیکسل‌های منفرد و پراکنده در سطح تصویر طبقه‌بندی‌شده و همچنین به‌دست‌آوردن تصویر مطلوب و با وضوح، از تجزیه‌وتحلیل فیلتر مجوریتی[1] استفاده گردید.

در این تحقیق، از دو روش ماشین بردار پشتیبان[2] و روش شئ‌گرا جهت طبقه‌بندی و از ماتریس انتقال، جهت شناسایی تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین در حوضهٔ آبخیز دریاچهٔ ارومیه استفاده گردید. همچنین برای ارزیابی صحت نقشه‌های طبقه‌بندی‌شده، با قطع‌دادن (مقایسهٔ متناظر) نقشه‌های طبقه‌بندی‌شده با نقشهٔ واقعیت زمینیِ حاصل از مطالعات میدانی، ماتریس خطا تشکیل شد و براساس آن، صحت کل و ضریب کاپا محاسبه گردید.

٤. ٤. ماتریس انتقال پوشش زمین

تجزیه‌وتحلیل آنالیز زمین با ایجاد یک ماتریس انتقال، از مقایسه دو نقشه شروع می‌شود (جدول ۳).

1. Majority Analysis
2. Support Vector Machine(SVM)

جدول ۳ـ یک ماتریس ٦×٦ از انتقال پوشش زمین

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۵

	۲۰۱۵							
۱۹۸۸	مناطق مسکونی	جنگل	مراتع	زراعت	بدون پوشش	سطوح آبی	جمع ۱۹۸۸	loss
مناطق مسکونی	C_{11}	C_{12}	C_{13}	C_{14}	C_{15}	C_{16}	C_{1+}	$C_{1+}- C_{11}$
جنگل	C_{21}	C_{22}	C_{23}	C_{24}	C_{25}	C_{26}	C_{2+}	$C_{2+}- C_{22}$
مراتع	C_{31}	C_{32}	C_{33}	C_{34}	C_{35}	C_{36}	C_{3+}	$C_{3+}- C_{33}$
زراعت	C_{41}	C_{42}	C_{43}	C_{44}	C_{45}	C_{46}	C_{4+}	$C_{4+}- C_{44}$
بدون پوشش	C_{51}	C_{52}	C_{53}	C_{54}	C_{55}	C_{56}	C_{5+}	$C_{5+}- C_{55}$
سطوح آبی	C_{61}	C_{62}	C_{63}	C_{64}	C_{65}	C_{66}	C_{6+}	C٦+− C_{66}
جمع ۲۰۱۵	C_{+1}	C_{+2}	C_{+3}	C_{+4}	C_{+5}	C_{+6}	۱	
gain	$C_{+1}- C_{11}$	$C_{+2}- C_{22}$	$C_{+3}- C_{33}$	$C_{+4}- C_{44}$	$C_{+5}- C_{55}$	$C_{+6}- C_{66}$		

در جدول بالا ردیف‌ها نشان‌دهندهٔ ٦ کلاس در سال ۱۹۸۸ است، درحالی‌که ستون‌ها ویژگی‌های کاربری اراضی در سال ۲۰۱۵ را نشان می‌دهد. بنابراین علامت Cij $(i{\neq}j)$ نشان‌دهندهٔ انتقال ویژگی چهرهٔ زمین از کلاس i به کلاس j، بین سال‌های ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۵ و Cjj تداوم کلاس j را در فاصلهٔ سال‌های موردنظر نشان می‌دهد. همچنین علامت C_{i+} به‌وسیلهٔ کلاس i در سال ۱۹۸۸ اشغال‌شده و جهت محاسبهٔ آن، از فرمول زیر استفاده می‌شود (پنطیوس، ۲۰۰٤):

$$C_{i+} = \sum_{i=1}^{n} Cij \qquad (۱)$$

در این رابطه، n تعداد کل کلاس‌ها می‌باشد. به‌طور مشابه C_{+j} ویژگی‌ای از چهرهٔ زمین می‌باشد که در سال ۲۰۱۵ ایجاد شده‌اند که به‌وسیلهٔ فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$C_{+j} = \sum_{j=1}^{n} Cij \qquad (۲)$$

ستون lossها نشان‌دهندهٔ ویژگی‌هایی از چهرهٔ زمین است که یک کاهش ناخالصی از کلاس i را بین سال‌های ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۵ تجربه کرده‌اند، درحالی‌که ردیف gainها ویژگی‌هایی از چهرهٔ زمین را نشان می‌دهد که یک رشد ناخالصی از کلاس j را بین سال‌های ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۵ تجربه کرده‌اند. مفهوم swap دلالت برافزایش و کاهش همزمان یک کلاس زمین از چشم‌انداز است (مثلاً احیای جنگل در برخی مناطق و جنگل‌زدایی در مناطق دیگر). بنابراین برای محاسبهٔ swap نیاز به جفت‌کردن هر پیکسل ازدست‌رفته با پیکسل به‌دست‌آمده می‌باشد. مقدار swap از کلاس j به‌صورت S_J می‌باشد که به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

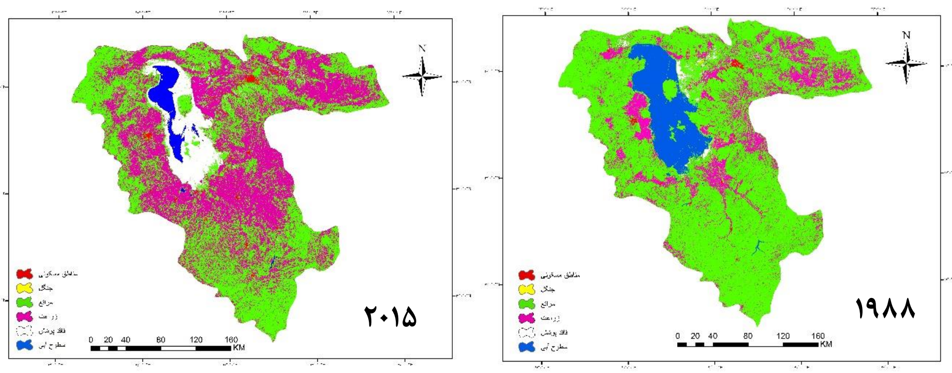
$$Sj = ۲ \min (C_{j+} - C_{jj} , C_{+j} - C_{jj}$$ (۵-۳)

اگر تغییرات خالص برابر صفر(gain و loss مساوی باشد) باشد، swap دو برابـر gain و loss است (بروینز و وارس، ۲۰۱۷، ص. ۳۹٦ـ۴۰۷).

۵. یافته‌های تحقیق

۵. ۱. نتایج حاصل از طبقه‌بندی

پس از پیش‌پردازش‌های موردنیاز و تهیهٔ نمونه‌های تعلیمی، طبقه‌بندی با روش‌هـای ماشـین بـردار پشتیبان و روش شیءگرا صورت گرفت. نقشهٔ حاصـل از ماشـین بـردار پشـتیبان (کرنـل حلقـوی) در شکل (۵) نشان داده شده است. پس از انجام مکرّر طبقه‌بندی با مقدار پارامترهـای مختلـف، درنهایـت، بایاس، گاما تابع کرنل، پارامتر پنالتی و سطوح هرم یا پیرامید در کرنل تابع پایهٔ حلقوی بـه‌ترتیـب برابـر با ۱، ۰/۱۴۳، ۱۰۰ و ۰ انتخاب شد. در ادامه، نقشهٔ حاصل از کرنل حلقوی فـراهم و بـه‌عنـوان معـرّف SVM جهت مقایسه با روش شیءگرا موردتوجّه قرار گرفت.



شکل۵ــ نتایج حاصل از طبقه‌بندی با استفاده از روش ماشین بردار پشتیبان

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۵

پس از طبقه‌بندی کاربری‌های اراضی، به ارزیـابی صـحت پرداختـه شـد. بـرای ارزیـابی صـحت طبقه‌بندی، انتخاب یکسری پیکسل‌های نمونه معلوم و مقایسه کلاس آنهـا بـا نتـایج طبقـه‌بنـدی لازم می‌باشد. بدین‌جهت تصاویر طبقه‌بندی‌شده با نمونه‌های زمینی تهیـه‌شـده و میـزان دقّـت کـاربری‌هـا (دقّت کل و ضریب کاپا) به شرح جداول زیر به‌دست آمد.

جدول ٤ـ دقّت کاربری‌ها با استفاده از روش ماشین بردار پشتیبان

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۵

پارامترهای آماری	تصویر TM ۱۹۸۸	تصویر +ETM ۲۰۱۵
ضریب کاپا	۰/۸۹	/۹۰
دقّت کل (درصد)	۹۰/٦۸	۹۱/۳۹

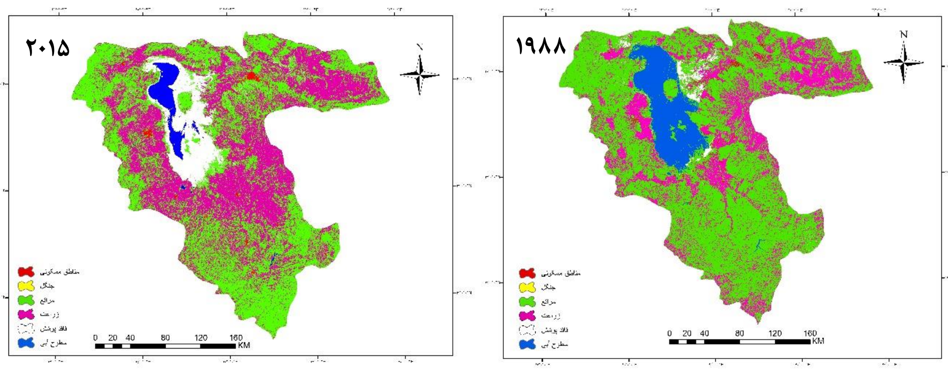
پایهٔ روش شیءگرا براساس قطعه‌بندی تصویر می‌باشد. در این تحقیق پس از قطعه‌بندی و تعیین میزان تغییرات و تکرار پامترهای مؤثّر برای قطعه‌بندی، جدول (۵) تهیه گردید. این جدول میزان هرکدام از پامترها را درجهت تهیهٔ نقشهٔ کاربری اراضی و پوشش زمین به روش شیءگرا نشان می‌دهد.

جدول ۵ـ فاکتورهای قطعه‌بندی

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۵

فاکتور	تکرار			بهترین حالت			دامنه تغییرات		
	۱۹۸۸	۲۰۰۷	۲۰۱۵	۱۹۸۸	۲۰۰۷	۲۰۱۵	۱۹۸۸	۲۰۰۷	۲۰۱۵
پهنای پنجره	۲ تا ٤	۲ تا ٤	۲ تا ٤	۳	۳	۳	۱۰-۰	۱۰-۰	۱۰-۰
تلرنس تشابه	۳۰-۲۰-۱۰	۳۰-۲۰-۱۰	۳۰-۲۰-۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰۰-۰	۱۰۰-۰	۱۰۰-۰
فاکتور میانگین وزنی	۰/۱ تا ۱	۰/۱ تا ۱	۰/۱ تا ۱	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۱۰-۰	۱۰-۰	۱۰-۰
فاکتور واریانس وزنی	۰/۱ تا ۱	۰/۱ تا ۱	۰/۱ تا ۱	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۱۰-۰	۱۰-۰	۱۰-۰

مهم‌ترین فاکتور تأثیرگذار در قطعه‌بندی تصاویر، تلرانس تشابه است. هرچه میزان این شاخص به ۱۰۰ نزدیک‌تر گردد، اندازهٔ نهایی قطعات کوچک می‌شود. این فرایند تا زمانی که بهترین نتیجه براساس نظرِ استفاده‌کننده به‌دست بیاید، تکرار خواهد شد (شکل ٦).



شکل ٦ـ نتایج حاصل از طبقه‌بندی با استفاده از روش شیءگرا

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۵

جدول ٦ـ دقّت کاربری‌ها با استفاده از روش شیءگرا

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۵

پارامترهای آماری	تصویر TM ۱۹۸۸	تصویر +ETM ۲۰۱۵
ضریب کاپا	۰/۹۱	۰/۹٤
دقّت کل (درصد)	۹۲/۳۸	۹٥/٥

با توجّه به نتایج حاصل از جدول (۷) می‌توان گفت، روش شیءگرا به‌ترتیب با صحت کل ۹٤ و ضریب کاپای ۰/۹۲ نسبت به روش ماشین بردار پشتیبان (با صحت کل ۹۲ و ضریب کاپای ۰/۸۹) عملکرد بهتری در تهیهٔ نقشهٔ کاربری اراضی و پوشش زمین داشته است. این امر به علّت استفاده از ویژگی‌های مختلفی، ازقبیل ویژگی‌های هندسی پدیده‌ها علاوه بر ویژگی‌های طیفی آنها در طبقه‌بندی است.

جدول ۷ـ نتایج ارزیابی صحت دو روش موردمطالعه

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۵

پارامترهای آماری	ماشین بردار پشتیبان	شیءگرا
ضریب کاپا	۰/۸٦	۰/۹۲
دقّت کل (درصد)	۸۸/۹۱	۹۳/۹٤

۵. ۳. خلاصه‌سازی انتقالات پوشش زمین

جدول (۸) خلاصهٔ نسبت gain، loss، swap و not change بـرای هـر پوششـی از زمـین بین سال‌های ۱۹۸۸ و ۲۰۱۵ می‌باشد. زراعت، مراتع و اراضی فاقد پوشـش و شـور بیشـترین gain را دارد، درحالی‌که مراتع، زراعت و سطوح آبی بـالاترین loss را دارا مـی‌باشـند. مراتـع حـدود ۲۵ درصد، زراعت ۳ درصد و سطوح آبی ۹ درصد از loss را از چهرهٔ زمین در منطقه تجربه کـرده‌انـد. Loss در مراتع احتمالاً به‌دلیل افزایش جمعیت و افزایش زمین‌های زراعی و در سطوح آبی به‌دلیـل حفر چاه‌ها، ایجاد پل و سد بر روی رودخانه‌ها و دریاچهٔ ارومیه می‌باشد. بیشترین نسـبت gain بـه loss متعلّق به سطوح آبی است که نشان می‌دهد این کاربری، قسـمت اعظمـی از پوشـش خـود را ازدست داده و افزایش چندانی نداشته است. بیشترین swap متعلّق به زراعت می‌باشد کـه همزمـان با gin در منطقه، loss نیز وجود داشـته اسـت. تغییـرات در منـاطق جنگلـی و تاحـدودی منـاطق مسکونی تقریباً ناخالص(تغییراتی که به‌صورت همزمان افزایش و کاهش کـاربری اراضـی را تجربـه کرده باشد) می‌باشد، امّا در کاربری‌های دیگر بیشتر به‌صورت خالص (تغییراتی که فقـط افـزایش یـا کاهش پوشش زمین را تجربه کرده باشد) است. بیشترین تغییـر نسـبت بـه مقـدار (net change) مربوط به سطوح آبی (۹۹ درصد) است، درحالی‌که بیشترین تغییرات نسـبت بـه موقعیـت (swap) مربوط به مناطق مسکونی (۵۹ درصد) می‌باشد.

جدول ۸ـ خلاصه‌سازی تغییرات چهرهٔ زمین(درصد)

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۵

	total 1988	total 2015	gain	loss	total change	swap	net change
مناطق مسکونی	٤/٣١٣	٨/٦٦٣	٤/٤٩١	٠/١٤١	٤/٦٣٢	٠/٢٥٢	٤/٣٥٠
جنگل	١/٤٠٦	١/٣٧٢	٠/٠١٤	٠/٠٤٨	٠/٠٦٢	٠/٠٢٨	٠/٠٣٤
مراتع	٥٦/٣٠٥	٣٢/٦٨٠	١/٨٧٨	٢٥/٥٠٣	٢٧/٣٨١	٣/٧٦٥	٢٣/٦٢٥
زراعت	١٨/٠٠٧	٣٧/٢٥٨	٢٣/١٥٢	٣/٩٠١	٢٧/٠٥٣	٧/٨٠٣	١٩/٢٥١
بدون پوشش	٣/٢١٩	١٣/٢١٤	١١/٢٨٥	١/٢٨٩	١٢/٥٧٤	٢/٥٧٨	٩/٩٩٥
سطوح آبی	١٦/٧٥٠	٦/٨١٣	٠/٠١١	٩/٩٤٨	٩/٩٥٩	٠/٠٢٣	٩/٩٣٧
total	١٠٠	١٠٠	٤٠/٨٣١	٤٠/٨٣١	٨١/٦٦١	١٤/٤٦٩	٦٧/١٩٢

با توجّه به جدول (۸)، هرچند که تغییرات کلّی در مراتع و زراعت مشهود می‌باشد، امّا به این نسبت تغییرات خالص این کاربری‌ها نیز زیاد می‌باشد. جنگل حالت تقریباً ثابتی را دارد. هرچندکه جنگل‌ها در بعضی مناطق افزایش خالص داشته، همزمان جنگل‌زدایی را هم تجربه کرده‌اند. با توجّه به اینکه سطوح آبی افزایش خیلی کمی را در منطقه تجربه کرده است، بنابراین میزان swap بسیار ضعیف و میزان تغییرات خالص و کل تقریباً برابر می‌باشد.

۵. ٤. تداوم پوشش زمین

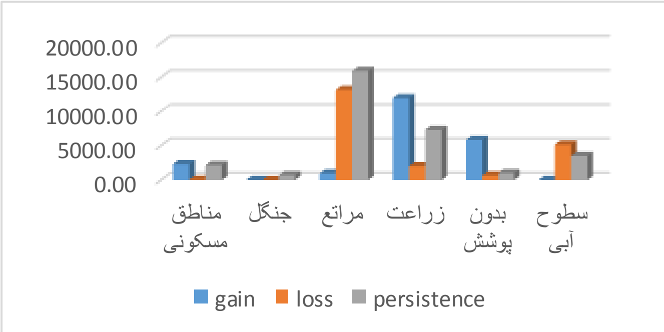
نسبت اختلاف پوشش‌های زمین به‌صورت ایستا بین سال‌های ۱۹۸۸ و ۲۰۱۵ در قطر جدول (۹) (به‌صورت درصد) نشان داده شده است. تقریباً ۳۱ درصد از چهرهٔ زمین که به‌صورت مرتع می‌باشد، بین سال‌های ۱۹۸۸ و ۲۰۱۵ ثابت مانده است. همچنین زراعت دارای ١٤ درصد پوشش ثابت در این فاصلهٔ زمانی می‌باشد.

جدول ۹ـ ماتریس تغییرات پوشش زمین(درصد)

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۵

۱۹۸۸/۲۰۱۵	مناطق مسکونی	جنگل	مراتع	زراعت	بدون پوشش	سطوح آبی	Total1988	loss
مناطق مسکونی	٤/١٧٢	٠/٠٠١	٠/٠٠٥	٠/١٣٤	٠/٠٠١	٠/٠٠٠	٤/٣١٣	٠/١٤١
جنگل	٠/٠٠١	١/٣٥٨	٠/٠١٢	٠/٠١٦	٠/٠١٩	٠/٠٠٠	١/٤٠٦	٠/٠٤٨
مراتع	٢/٤٣٢	٠/٠٠٦	٣٠/٨٠٢	٢٢/٩٩٢	٠/٠٧١	٠/٠٠٢	٥٦/٣٠٥	٢٥/٥٠٣
زراعت	٢/٠٤٦	٠/٠٠٥	٠/٥٦٤	١٤/١٠٦	١/٢٧٧	٠/٠٠٩	١٨/٠٠٧	٣/٩٠١
بدون پوشش	٠/٠٠٠	٠/٠٠٢	١/٢٨٦	٠/٠٠٩	١/٩٢٩	٠/٠٠١	٣/٢١٩	١/٢٨٩
سطوح آبی	٠/٠١١	٠/٠٠١	٠/٠١١	٠/٠٠٩	٩/٩١٧	٦/٨٠٢	١٦/٧٥٠	٩/٩٤٨
total 2015	٨/٦٦٣	١/٣٧٢	٣٢/٦٨٠	٣٧/٢٥٨	١٣/٢١٤	٦/٨١٣	١٠٠	٤٠/٨٣١
gain	٤/٤٩١	٠/٠١٤	١/٨٧٨	٢٣/١٥٢	١١/٢٨٥	٠/٠١١	٤٠/٨٣١	

همان‌طور که در نمودار (۱) مشاهده می‌شود، مناطق جنگلی شرایط تقریباً ثابتی را طی کرده‌اند که کمترین مقدار کاربری را در حوضهٔ آبخیز دریاچهٔ ارومیه دارا می‌باشند. بیشترین مقدار gain در این حوضه، زراعت و سپس اراضی فاقد پوشش می‌باشد. بیشترین مقدار loss مربوط به مراتع و سپس سطوح آبی می‌باشد که احتمالاً جایگزینی با زراعت و سطوح آبی داشته است. همچنین مراتع بیشترین پایداری را در این حوضه دارا می‌باشد.



نمودار ۱ــ نسبت افزایش، کاهش و پایداری پوشش زمین(براساس هکتار)

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۵

نکتهٔ قابل‌ملاحظه در این نمودار وضعیت پایداری سطوح آبی می‌باشد که کاهش در منطقه، بیشتر از پایداری این پوشش بوده است. این وضعیت نشان‌دهندهٔ تخریب شدید در این نوع از چهرهٔ زمین است. زراعت و مراتع شرایط تقریباً متفاوتی را تجربه کرده‌اند. به همان نسبت که زراعت افزایش داشته، مراتع بخش عظیمی از پوشش خود را از دست داده‌اند.

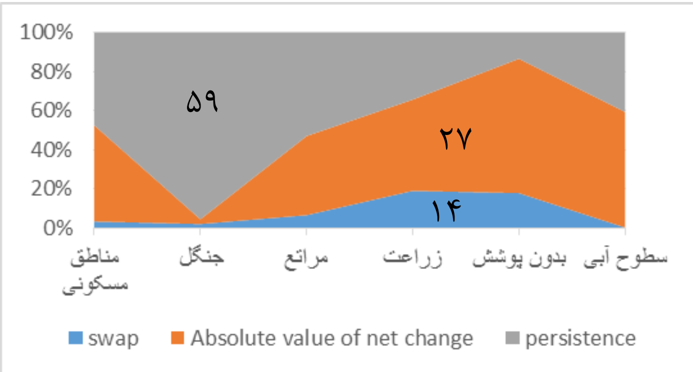
نسبت loss به persistence ارزیابی آسیب‌پذیری انتقال کلاس زمین را مشخّص می‌کند. ارزش l_p (نسبت کاهش به پایداری پوشش زمین) بالاتر از یک، نشان‌دهندهٔ یک گرایش بالای انتقال کاربری زمین به دیگر کاربری‌هایی است که مقاوم‌اند. در جدول (۱۰) l_p برای کلاس سطوح آبی، بالای یک و بقیهٔ کاربری‌ها کمتر از یک می‌باشد. بنابراین این کاربری‌ها تمایل کمتری برای ازدست‌دادن دارند. درنتیجه، ما شاهد کاهش سطوح آبی و همچنین تاحدودی مرتع در این منطقه هستیم. این دو منطقه تمایل به ازدست‌دادنشان بیشتر از تمایل به افزایش در منطقه می‌باشد. شایان‌ذکر است که سه کلاس مناطق مسکونی، زراعت و اراضی بدون پوشش نسبت gain-to-persistence (g_p) بالای یک دارند که نشان می‌دهد در این کاربری‌ها، gainها بیشتر به‌دلیل پایداری این کاربری‌ها می‌باشد، درحالی‌که سطوح آبی کمترین مقدار را شامل می‌شود. مقدار تغییرات خالص به پایداری که به‌وسیلهٔ فرمول $n_p = g_p - l_p$ به‌دست می‌آید، برای جنگل، مرتع و سطوح آبی منفی می‌باشد. کاهش خالص سطوح آبی تقریباً برعکس پایداری این چشم‌انداز است. همچنین کاهش خالص زراعت با پایداری این چشم‌انداز تقریباً برابر بوده است، ولی نسبت به افزایش خالص نصف می‌باشد (جدول ۱۰). همان‌طور که در نمودار (۲) مشاهده می‌گردد،

بیشترین میزان از چهرهٔ زمین، مربوط به تداوم این کاربری‌ها است و تبادل همزمان کاربری‌ها کمترین مقدار را دارا می‌باشند.

جدول ۱۰ـ نسبت (gp، lp و np) برای هر کلاس

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۵

	gp	lp	np
مناطق مسکونی	۱/۰۷۷	۰/۰۳۴	۱/۰۴۳
جنگل	۰/۰۱۰	۰/۰۳۵	−۰/۰۲۵
مراتع	۰/۰۶۱	۰/۸۲۸	−۰/۷۶۷
زراعت	۱/۶۴۱	۰/۲۷۷	۱/۳۶۵
بدون پوشش	۵/۸۴۸	۰/۶۶۸	۵/۱۸۰
سطوح آبی	۰/۰۰۲	۱/۴۶۳	−۱/۴۶۱



نمودار ۲ـ نسبت پایداری پوشش زمین با دیگر نسبت‌های چهرهٔ زمین (درصد)

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۵

با توجّه به نمودار (۲)، از کل حوضهٔ آبخیز دریاچهٔ ارومیه، حدود ۵۹ درصد پایداری، ۱۴ درصد تبادل همزمان از تغییرات کاهشی و افزایشی و ۲۷ درصد از چهرهٔ زمین نیز تغییرات خالص داشته است. این آمارها نشان می‌دهد که در این دورهٔ زمانی، این حوضهٔ آبخیز تغییراتی زیادی را تجربه کرده، که بیشتر درجهت نامناسب بوده است و همین انتقالات است که این حوضه را به یک موضوع بین‌المللی مبدّل ساخته که با چالش‌های فراوانی روبه‌رو می‌باشد.

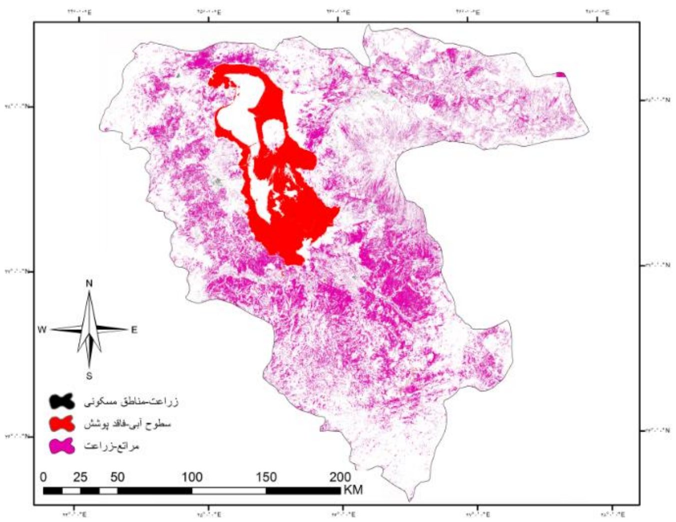
٦. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در نقشهٔ شیءگرا، کاربری‌ها و پوشش اراضی مختلف، مانند مراتع، مناطق مسکونی، زراعت، اراضی فاقد پوشش و سطوح آبی نسبت به دو نقشهٔ دیگر با جزئیات بهتری طبقه‌بندی شده است؛ چراکه روش شیءگرا قادر است اشکال هندسی منظّم، نظیر مناطق انسان‌ساخت یا اراضی زراعی را در فرایند سگمنت‌سازی به‌خوبی تشخیص دهد. انتخاب پارامترها در روش‌های ماشین بردار پشتیبان اثر قابل‌توجّهی بر صحت و زمان طبقه‌بندی دارد و ازاین‌جهت که هیچ منبع و اساسی برای انتخاب پارامترها وجود نداشته و کاملاً جنبهٔ تجربی دارند، حائز توجّه بیشتر می‌باشند. از طرفی سگمنت‌سازیِ روش شیءگرا نیز مستلزم انتخاب تجربی و همراه با سعی و خطای چند پارامتر است که مقدار داده‌شده به این پارامترها تعیین‌کنندهٔ صحت و ظرافت طبقه‌بندی نهایی هستند. درمجموع، می‌توان این‌گونه استنباط کرد که مقایسهٔ روش‌ها تاحدودی به منطقه و تصویر استفاده‌شده و گروه روش‌های موردمقایسه بستگی دارد. در اینجا هر دو روش طبقه‌بندیِ ماشین بردار پشتیبان و شیءگرا نشان دادند که قابلیت تهیهٔ نقشه‌های مطلوب را دارا می‌باشند. ازاین‌بین، روش شیءگرا به دلیل دخالت‌دادن فاکتورهایی، نظیر مقیاس، شکل و بافت علاوه بر استفاده از ارزش پیکسلی، عملکرد بهتر و دقیق‌تری در طبقه‌بندی کاربری و پوشش اراضی نشان داد.

در مواردی که روش شیءگرا با روش ماشین بردار پشتیبان مقایسه شده، اغلب حاکی از کارایی برتر روش شیءگرا بوده است که در پژوهش حاضر نیز چنین نتیجه‌ای حاصل شد. هرچند با توجّه به مقادیر صحت کلی بیش از ۸۵ درصد، نقشه‌های حاصل از هر دو روش با استناد به منابعی مانند لیلسند، کیفر و چیمپان[1] (۲۰۰۸) قابل‌قبول و قابل‌استناد می‌باشند. امّا در پژوهش حاضر، پس از مقایسهٔ صحت هر دو روش، روش طبقه‌بندی شیءگرا با صحت کلی و کاپای بالاتر (ضریب کاپای ۰/۹۲، دقّت کل ۹٤/۱۷) نسبت به روش ماشین بردار پشتیبان به‌عنوان روش برتر برای منطقهٔ موردمطالعه انتخاب گردید.

در حوضهٔ آبخیز دریاچهٔ ارومیه با استفاده از تجزیه‌وتحلیل از ماتریس انتقال، نتایج حاصل از ارزیابی این ماتریس‌ها به‌صورت زیر خلاصه گردید. همچنین جهت نمایش این انتقالات، شکل (۸) سیگنال‌های غالب تغییرات را نشان می‌دهد. شناسایی میزان این سیگنال‌های عمده از انتقالات طبقات LULC ما را درجهت برنامه‌ریزی آیندهٔ حوضهٔ آبخیز دریاچهٔ ارومیه توصیه می‌کند.

1. Lillesand TM, Kiefer RW, Chipman JW



شکل ۸ــ انتقالات غالب چهرهٔ زمین ۲۰۱۵ــ۱۹۸۸

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۵

۱ــ حدود ۸۱ درصد (با توجّه به اینکه این تغییرات جمع loss و gain می‌باشد که حدود ٤۱ درصد از سطح حوضهٔ آبخیز دریاچهٔ ارومیه را دربر می‌گیرد) از چهرهٔ زمین در حوضهٔ آبخیز دریاچهٔ ارومیه تغییرات کلّی داشته است. از این تغییرات، ١٤ درصد به‌صورت swap و مابقی تغییرات (۲۷) به‌صورت خالص بوده است.

۲ــ در بین کاربری‌های حوضهٔ موردنظر، زراعت بیشترین swap و مراتع بیشترین net change را شامل بوده است. بیشترین میزان سطوح کاهشی را به‌ترتیب مراتع و سطوح آبی و بیشترین سطوح افزایش را به‌ترتیب زراعت و اراضی فاقد پوشش تجربه کرده‌اند. دلایل این کاهش سطوح آبی نسبت به مناطق دیگر می‌تواند افزایش تعداد جمعیت، حفر بیش‌ازحد چاه‌ها، ایجاد سد و خشک‌سالی‌های منطقه باشد. کاهش مرتع نیز می‌تواند به‌دلیل افزایش جمعیت و تبدیل کاربری مرتع به زراعت باشد.

۳ــ به‌طور میانگین، ۵۹ درصد از چهرهٔ زمین در حوضهٔ آبخیز دریاچهٔ ارومیه در فاصلهٔ زمانی ۲۰۱۵ــ۱۹۸۸ تداوم داشته است که بیشترین مقدار از این تداوم براساس مقدار این کاربری در این فاصلهٔ زمانی، مربوطه به مناطق مسکونی می‌باشد.

٤ــ در این فاصلهٔ زمانی در حوضهٔ آبخیز دریاچهٔ ارومیه، سطوح آبی بیشترین ازدست‌دادگی و کمترین تبادل همزمان(swap) را تجربه کرده است.

کتابنامه

۱. آرخی، ص. (۱۳۹٤). آشکارسازی تغییرات پوشش/کاربری اراضی با پردازش شیءگرای تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از نرم‌افزار Idrisi selvi (مطالعۀ موردی: منطقۀ آبدانان). *فصلنامۀ علمی پژوهشی اطّلاعات جغرافیایی «سپهر»، ۲٤*(۹۵)، ۵۱–٦۲.

۲. آرخی، ص.؛ اصفهانی، م. (۱۳۹۳). *آموزش تصویری نرم‌افزار ایدریسی سلوا*. چاپ اوّل. انتشارات دانشگاه گلستان.

۳. زهتابیان، غ.؛ طباطبایی، غ. (۱۳۸۷). بررسی روند بیابان‌زائی در استان خوزستان با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای. *همایش منطقه‌ای توسعۀ پایدار در زیست‌بوم‌های بیابانی*، یزد. ۵۷ـ۷۰.

٤. علوی‌پناه، س. (۱۳۹۲). *کاربرد سنجش از دور در علوم زمین(علوم خاک)*. چاپ چهارم. انتشارات دانشگاه تهران.

۵. علوی‌پناه، ک.؛ متین‌فر، ح. ر.؛ و سرمدیان، ف. (۱۳۸۳). ارزیابی کاربری داده‌های ماهواره‌ای ازنظر صرفه‌جویی وقت. *کنفرانس ملّی بهره‌وری*، فرهنگستان علوم ایران، ٤۲۵ـ٤۳۹.

٦. فاطمی نصیرآبادی، س. (۱۳۸۵). *آموزش نرم‌افزار ENVI (نرم‌افزار پردازش تصاویر ماهواره‌ای)*. چاپ اوّل. تهران: سازمان نقشه‌برداری کشور.

7. Alo, C. A., & Pontius, R. G. (2008). Identifying systematic land-cover transitions using remote sensing and GIS: The fate of forests inside and outside the protected areas of southwestern Ghana. *Environment and Planning B: Planning and Design*, *35*(2), 280-295.
8. Bauer, T., & Steinnocher, K. (2001). Per-parcel land use classification in urban areas applying a rule-based technique. GeoBIT/GIS, 6, 24-27.
9. Braimoh, A. K. (2006). Random and systematic land-cover transitions in northern Ghana. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *113*(1), 254-263.
10. Briones, P. S., & Sepúlveda-Varas, A. (2017). Systematic transitions in land use and land cover in a pre-Andean subwatershed with high human intervention in the Araucania region, Chile. *Ciencia e Investigación Agraria*, *43*(3), 396-407.
11. Definiens the image intelligence company. (2006). *Definiens professional user guide*. Retrieved from http://www.definiens.com/Userguide.pdf
12. Hussain, M., Chen, D., Cheng, A., Wei, H., & Stanley, D. (2013). Change detection from remotely sensed images: From pixel-based to object-based approaches. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, *80*, 91-106.
13. Karami, A., Khoorani, A., Nohegar, A., Shamsi, S. R. F., & Moosavi, V. (2015). Gully erosion mapping using object-based and pixel-based image classification methods. *Environmental & Engineering Geoscience*, *21*(2), 101-110.

14. Lambin, E. F., Geist, H. J., & Lepers, E. (2003). Dynamics of land-use and land-cover change in tropical regions. *Annual Review of Environment and Resources*, *28*(1), 205-241.
15. Lu, D., Mausel, P., Brondizio, E., & Moran, E. (2004). Change detection techniques. *International Journal of Remote Sensing*, *25*(12), 2365-2401.
16. Mackie, R. I. (2013). Dynamic analysis of structures on multicore computers: Achieving efficiency through object-oriented design. *Advances in Engineering Software*, *66*, 3-9.
17. Manandhar, R., Odeh, I. O., & Pontius, R. G. (2010). Analysis of twenty years of categorical land transitions in the Lower Hunter of New South Wales, Australia. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *135*(4), 336-346.
18. Matinfar, H. R., Sarmadian, F., Alavipanah, S. K., & Heck, R., (2008). Characterizing land use/land cover types by Landsat7 data based on object-oriented approach in Kashan region. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, *14*(4), 589-602.
19. Petropoulos, G. P, Kalaitzidis, C., Vadrevu, K. P. (2012). Support vector machines and object-based classification for obtaining land use/cover cartography from Hyperion hyperspectral imagery. *Computers & Geosciences*, *41*, 99-107.
20. Pontius, R. G., Shusas, E., & McEachern, M. (2004). Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *101*(2), 251-268.
21. Puissant, A., Rougier, S., & Stumpf, A. (2014). Object-oriented mapping of urban trees using random forest classifiers. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, *26*, 235-245.
22. Puissant, A., Rougier, S., & Stumpf, A. (2014). Object-oriented mapping of urban trees using Random Forest classifiers. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, *26*, 235-245.
23. Roostaei, S., Alavi, S., Nikjoo, M., & Kamran, K. V. (2012). Evaluation of object-oriented and pixel-based classification methods for extracting changes in urban areas. *International Journal of Geomatics and Geosciences, 2*(3), 738-749.
24. Singh, A. (1989). Digital change detection techniques using remotely-sensed data. *International Journal of Remote Sensing*, *10*(6), 989-1003.
25. Tso, B., & Mather, P. M. (2009). Classification methods for remotely-sensed data. New York: Taylor and Francis.
26. Tucker, C. J., Dregne, H. E., & Newcomb, W. W. (1991). Expansion and contraction of the Sahara Desert. *Science*, *253*, 299-301.